

(19)日本国特許庁 ( J P )

# (12) 公開特許公報 ( A )

(11)特許出願公開番号

## 特開2003 - 273455

( P 2 0 0 3 - 2 7 3 4 5 5 A )

(43)公開日 平成15年 9月26日 (2003.9.26)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テ-マコード (参考)

H01S 5/125

H01S 5/125

5F073

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願2002 - 71086 ( P 2002 - 71086 )

(22)出願日 平成14年 3月14日 (2002.3.14)

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町 4 丁目 1 番 8 号

(71)出願人 000006079

ミノルタ株式会社

大阪府大阪市中央区安土町二丁目 3 番13号

大阪国際ビル

(72)発明者 野田 進

京都府宇治市五ヶ庄京大宿舍231

(74)代理人 100091432

弁理士 森下 武一

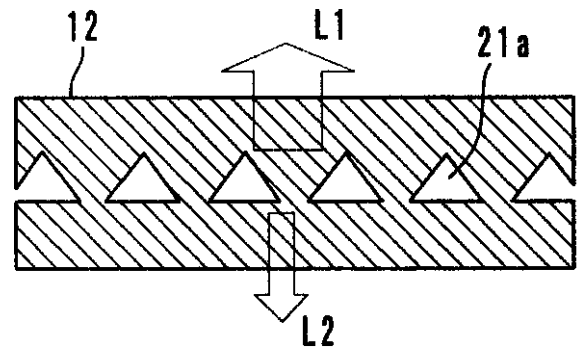
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 2次元フォトニック結晶面発光レーザ及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 面発光される光の利用効率を 5 0 % 以上に高めることのできる 2次元フォトニック結晶面発光レーザ及びその製造方法を得る。

【解決手段】 基板上に下部クラッド層 1 2、キャリアの注入により発光する活性層、上部クラッド層を積層し、下部クラッド層 1 2 に 2 次元的に屈折率周期を配置したフォトニック結晶周期構造体 2 1 a を備え、該周期構造体 2 1 a により共振して上部クラッド層の上面から面発光する 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ。前記周期構造体 2 1 a の結晶面に対する断面形状の幅が主たる発光方向に沿って漸減していることにより、下方への 1 次回折光 L 2 を抑え、その分上方への 1 次回折光 L 1 の光量の増大を図ることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 キャリアの注入により発光する活性層をクラッド層で挟み込み、該クラッド層又は該活性層に 2 次元的に屈折率周期を配置したフォトニック結晶周期構造体を備えた 2 次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、

前記フォトニック結晶周期構造体の結晶面に対する断面形状の幅が主たる発光方向に沿って漸減していること、を特徴とする 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項 2】 フォトニック結晶周期構造体の前記断面形状が三角形状に近似した多段形状であることを特徴とする請求項 1 記載の 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項 3】 フォトニック結晶周期構造体が断面ほぼ三角形状体を重ね合わせた井桁構造であることを特徴とする請求項 1 記載の 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項 4】 請求項 1 記載の 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの製造方法であって、フォトニック結晶周期構造体を結晶面に対する垂直方向の断面形状を段差を有するほぼ三角形状にフォトリソグラフィ法で加工した際、マストランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することを特徴とする 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの製造方法。

【請求項 5】 請求項 3 記載の 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの製造方法であって、フォトニック結晶周期構造体を構成する三角形状体をフォトリソグラフィ法で多段に加工した際、マストランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することを特徴とする 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、2次元フォトニック結晶面発光レーザ及びその製造方法、特に、キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、2次元的に屈折率周期を配置したフォトニック結晶周期構造体を備え、フォトニック結晶により共振して面発光する2次元フォトニック結晶面発光レーザ及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、基板面から垂直方向にレーザ光を射出する面発光レーザが種々開発、研究されている。面発光レーザは同一基板の上に多数の素子を集積（アレイ化）でき、各素子からコヒーレントな光が並列的に射出されるため、並列光ピックアップ、並列光伝送、光並列情報処理の分野での用途が期待されている。

【0003】この種の面発光レーザとして、フォトニック結晶を利用した2次元フォトニック結晶面発光レーザが特開2000-332351号公報に開示されている。フォトニック結晶とは、光の波長と同程度もしくは

より小さい屈折率周期を有する結晶であり、誘電体の多次元周期構造体では半導体の結晶中で電子状態にバンドギャップが生じることと同様の原理により、光の導波を抑制する波長帯（フォトニックバンドギャップ）が生じ、光を2次元又は3次元に閉じこめることが可能である。

【0004】前記公報記載の2次元フォトニック結晶面発光レーザは、キャリアの注入により発光する活性層の近傍に、2次元的に屈折率周期を配置したフォトニック結晶周期構造体を備え、フォトニック結晶により共振して面発光するものである。

【0005】具体的には、図8に示すように、この2次元フォトニック結晶面発光レーザ10は、概略、基板11上に下部クラッド層12、活性層13、上部クラッド層14が積層され、下部クラッド層12には活性層13の近傍に2次元フォトニック結晶20が内蔵されている。

【0006】基板11は、例えば、n型InPの半導体材料からなる。下部クラッド層12及び上部クラッド層14は、例えば、それぞれn型及びp型InPの半導体層であり、活性層13よりも屈折率が低い。2次元フォトニック結晶20は、下部クラッド層12に形成した空孔（フォトニック結晶周期構造体21）にて構成され、下部クラッド層12とは屈折率の異なる媒質が2次元の周期で配列された正方格子や三角格子からなっている。空孔内にはSiN等を充填してもよい。活性層13は、例えば、InGaAs/InGaAsP系の半導体材料を用いた多重量子井戸構造からなっており、キャリアの注入により発光する。

【0007】下部クラッド層12及び上部クラッド層14により活性層13を挟んでダブルヘテロ接合を形成し、キャリアを閉じこめて発光に寄与するキャリアを活性層13に集中させるようになっている。

【0008】基板11の底面及び上部クラッド層14の上面には金等からなる下部電極16及び上部電極17が形成されている。電極16、17間に電圧を印加することにより活性層13が発光し、該活性層13から漏れた光が2次元フォトニック結晶20に入射する。2次元フォトニック結晶20の格子間隔に波長が一致する光は、2次元フォトニック結晶20により共振して増幅される。これにより、上部クラッド層14の上面（電極17の周囲に位置する発光領域18）からコヒーレントな光が面発光される。

【0009】ここで、図9に示すような正方格子からなる2次元フォトニック結晶20について共振作用を説明する。なお、格子形状は正方格子に限らず、三角格子等であってもよい。

【0010】2次元フォトニック結晶20は、第1媒質12内に空孔等の第2媒質21と直交する2方向に同じ周期で形成した正方格子からなっている。正方格子は

10

20

30

40

50

- X方向と - M方向の代表的な方向を有している。  
 - X方向に隣接する第2媒質21の間隔をaとすると、第2媒質21を格子点とした一辺がaの正方形からなる基本格子Eが形成されている。

【0011】波長が基本格子Eの格子間隔aに一致する光Lが-X方向に進行すると、光Lは格子点で2次回折される。このうち、光Lの進行方向に対して0°、±90°、180°の方向に回折された光のみがブラッグ条件を満たす。さらに、0°、±90°、180°の方向に回折された光の進行方向にも格子点が存在するため、回折光は再度進行方向に対して0°、±90°、180°方向に回折する。

【0012】光Lが1回又は複数回の2次回折を繰り返すと、回折光が元の格子点に戻るため共振作用が生じる。また、紙面に垂直な方向に1次回折された光もブラッグ条件を満たす。このため、共振によって増幅された光が上部クラッド層14を介して出射され、面発光機能を有することになる。また、全ての格子点でこの現象が生じるため、面内全域でコヒーレントなレーザ発振が可能である。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】ところで、前記2次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、周期構造体21は円柱状、楕円柱状あるいは四角柱状に形成されており、図10に示すように、結晶面に対する垂直方向の断面形状は四角形状になっている。

【0014】このように、周期構造体21の垂直断面形状が四角形であると、1次回折による光は上方への出射光L1と下方への出射光L2に同じ強度(50%及び50%)で分かれる。レーザ光として使用される光は出射光L1、L2のいずれか一方であり、光の利用効率が低いという問題点を有していた。

【0015】そこで、本発明の目的は、面発光される光の利用効率を50%以上に高めることのできる2次元フォトニック結晶面発光レーザ及びその製造方法を提供することにある。

【0016】

【発明の構成、作用及び効果】以上の目的を達成するため、本発明に係る2次元フォトニック結晶面発光レーザは、キャリアの注入により発光する活性層をクラッド層で挟み込み、該クラッド層又は該活性層に2次的に屈折率周期を配置したフォトニック結晶周期構造体を備えた2次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、前記フォトニック結晶周期構造体の結晶面に対する断面形状の幅が主たる発光方向に沿って漸減していることを特徴とする。

【0017】この2次元フォトニック結晶面発光レーザにあっては、フォトニック結晶周期構造体の前記断面形状が三角形に近似した多段形状であってもよい。また、フォトニック結晶周期構造体が断面ほぼ三角形状

を重ね合わせた井桁構造であってもよい。

【0018】本発明に係る2次元フォトニック結晶面発光レーザにおいては、活性層から漏れた光がフォトニック結晶の周期構造体によって2次回折(共振)して増幅され、1次回折によってクラッド層から面発光する。周期構造体は垂直方向の断面形状の幅が主たる発光方向に沿って漸減しているため、底辺方向への1次回折が抑えられてほぼ三角形の頂点方向へより多く1次回折される。従って、頂点方向に1次回折される光を面発光として利用することにより、50%以上の光利用効率を得ることができる。

【0019】一方、前記2次元フォトニック結晶面発光レーザは、フォトニック結晶周期構造体を結晶面に対する垂直方向の断面形状を段差を有するほぼ三角形にフォトリソグラフィ法で加工した際、マストランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することにより製造することができる。

【0020】また、フォトニック結晶周期構造体を断面ほぼ三角形状体を重ね合わせた井桁構造とした2次元フォトニック結晶面発光レーザは、フォトニック結晶周期構造体を構成する三角形状体をフォトリソグラフィ法で多段に加工した際、マストランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することにより製造することができる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る2次元フォトニック結晶面発光レーザ及びその製造方法の実施形態について、添付図面を参照して説明する。

【0022】(第1実施形態、図1参照)本発明に係る2次元フォトニック結晶面発光レーザの第1実施形態は、図1にその要部断面を示すように、フォトニック結晶周期構造体21aの結晶面に対する垂直方向の断面形状を三角形としたものであり、周期構造体21aは下部クラッド層12に形成されている。その他の構成は図8に示した2次元フォトニック結晶面発光レーザ10と基本的構成を同じくし、同種の材料を用いて製作され、同様の共振作用によって面発光する。

【0023】図8に示した周期構造体21は円柱形状、楕円形状、四角柱形状からなる。本第1実施形態での周期構造体21aはそれらの形状に対応した円錐形状、楕円錐形状、四角錐形状である。2次回折は従来の周期構造体21と同様に発生するが、周期構造体21(三角形)の底辺方向への1次回折光L2の発生が抑えられ、三角形の頂点方向へより多くの1次回折光L1が出射される。これにて、光の利用効率が向上することになる。

【0024】(第2実施形態、図2参照)本発明に係る2次元フォトニック結晶面発光レーザの第2実施形態は、図2にその要部断面を示すように、フォトニック結晶周期構造体21bの結晶面に対する垂直方向の断面形

状を三角形に近似した3段形状としたものであり、周期構造体21bは下部クラッド層12に形成されている。その他の構成は図8に示した2次元フォトニック結晶面発光レーザ10と基本的構成を同じくし、同種の材料を用いて製作され、同様の共振作用によって面発光する。

【0025】本第2実施形態での周期構造体21bも円錐形状、楕円錐形状、四角錐形状の3段ピラミッド形状である。前記第1実施形態と比較すると、1次回折光L2が若干多くなり、面発光して利用される1次回折光L1の利用効率が若干低下するが、従来の垂直断面が四角形状の周期構造体21と比べると光の利用効率は向上している。

【0026】(第3実施形態、図3参照)本発明に係る2次元フォトニック結晶面発光レーザの第3実施形態は、図3にその要部断面を示すように、フォトニック結晶周期構造体21cの結晶面に対する垂直方向の断面形状を三角形に近似した2段形状としたものであり、周期構造体21cは下部クラッド層12に形成されている。その他の構成は図8に示した2次元フォトニック結晶面発光レーザ10と基本的構成を同じくし、同種の材料を用いて製作され、同様の共振作用によって面発光する。

【0027】本第3実施形態での周期構造体21cも円錐形状、楕円錐形状、四角錐形状の2段ピラミッド形状であり、前記第2実施形態の変形例としても位置づけられる。第2実施形態と比較すると、1次回折光L2が若干多くなり、面発光して利用される1次回折光L1の利用効率が若干低下するが、従来の垂直断面が四角形の周期構造体21と比べると利用効率は向上している。

【0028】(製造方法、図4、図5参照)ここで、前記第2実施形態で示した2次元フォトニック結晶面発光レーザの製造方法について、その要部であるフォトニック結晶周期構造体21bの加工工程(フォトリソグラフィ法あるいは電子ビームリソグラフィ法等)を説明する。なお、下部クラッド層、活性層、上部クラッド層を形成する工程は従来と同様である。

【0029】まず、下部クラッド層12b上にレジスト31を塗布し(図4(A)参照)、該レジスト31をパターニングした後(図4(B)参照)、下部クラッド層12bを所定量エッチング処理する(図4(C)参照)。

【0030】次に、レジスト31を除去し、新たなレジスト31を塗布し(図4(D)参照)、該レジスト31をパターニングすると共にさらに所定量エッチング処理する(図4(E)参照)。

【0031】次に、レジスト31を除去し、新たなレジスト31を塗布し(図4(F)参照)、該レジスト31をパターニングすると共にさらに所定量エッチング処理し(図4(G)参照)、レジスト31を除去する(図4

(H)参照)。これにて、下部クラッド層12bに3段ピラミッド形状のフォトニック結晶周期構造体21bが形成されたことになる。

【0032】その後、下部クラッド層12bを表裏反転させ(図5(A)参照)、基板11上に積層されている下部クラッド層12a上に下部クラッド層12bを融着させる(図5(B)参照)。完成した状態は図5(C)に示すとおりである。なお、下部クラッド層12bには活性層13及び上部クラッド層14が予め積層されている。また、その後、図8に示したように、基板11の下面に下部電極16が設けられ、上部クラッド層14の上面に上部電極17が設けられる。

【0033】また、下部クラッド層12bをフォトリソグラフィ法で加工した際、周知のマストランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成すると、前記第1実施形態で示した垂直断面が三角形の周期構造体21aを形成することができる。

【0034】InP、InGaAs、InGaP、InAs、GaAs、GaP、AlGaAs等のIII-V族半導体は、水素ガス、窒素ガスあるいは希ガスの雰囲気中で、450 以上30分以上の熱処理を加えることで強くマストランスポートが生じる。この条件は以下に説明する第4実施形態での傾斜面の形成工程でもほぼ同様である。

【0035】(第4実施形態、図6、図7参照)本発明に係る2次元フォトニック結晶面発光レーザの第4実施形態は、図6に示すように、下部クラッド層12a、12bの対向面に互いに直交する方向に形成した断面三角形の陸部22a、23a及び溝部22b、23bによって井桁構造の2次元フォトニック結晶20を構成したものである。その他の構成は図8に示した2次元フォトニック結晶面発光レーザ10と基本的構成を同じくし、同種の材料を用いて製作される。従って、図6において図8と同じ部材には同じ符号が付されている。

【0036】陸部22a、23a及び溝部22b、23bが接合されることにより、井桁構造の2次元フォトニック結晶20が形成される。図7はこの2次元フォトニック結晶20を示す平面図であり、陸部22a、23a及び溝部22b、23bの重なり状態の異なる、即ち屈折率がそれぞれ異なる2次元の周期構造体21d、21e、21f、21g(それぞれ斜線を付して示す)が市松模様状に密集して配列されている。

【0037】このような2次元の周期構造体によって光が2次回折して共振し、1次回折によって面発光する。この1次回折において、図6に示すように、1次回折光L2の発生が抑えられ、より多くの1次回折光L1が射出され、光の利用効率が向上する。

【0038】井桁を構成する断面三角形形状体は、図4に示したフォトリソグラフィ法で多段に加工した際、マストランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面

10

20

30

40

50

を形成すればよい。

【0039】(他の実施形態)なお、本発明に係る2次元フォトニック結晶面発光レーザ及びその製造方法は前記実施形態に限定するものではなく、その要旨の範囲内で種々に変更することができる。

【0040】特に、半導体層、フォトニック結晶、電極の材料や、光の偏光を揃えるための構造、格子形状等は任意である。また、前記各実施形態では、フォトニック結晶周期構造体を下部クラッド層に設けた例を示したが、上部クラッド層内の活性層近傍もしくは活性層内に

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態である2次元フォトニック結晶面発光レーザの要部を示す断面図。

【図2】本発明の第2実施形態である2次元フォトニック結晶面発光レーザの要部を示す断面図。

【図3】本発明の第3実施形態である2次元フォトニック結晶面発光レーザの要部を示す断面図。

【図4】前記第2実施形態でのフォトニック結晶周期構造体の加工工程を示す説明図。

【図5】前記第2実施形態でのフォトニック結晶周期構

造体の加工工程を示す説明図、図4の続き。

【図6】本発明の第4実施形態である2次元フォトニック結晶面発光レーザを示す斜視図。

【図7】前記第4実施形態での2次元フォトニック結晶を示す説明図。

【図8】本発明に先行する2次元フォトニック結晶面発光レーザを示す斜視図。

【図9】2次元フォトニック結晶面発光レーザの共振作用を示す説明図。

【図10】図8に示した面発光レーザでのフォトニック結晶周期構造体を示す断面図。

【符号の説明】

10...2次元フォトニック結晶面発光レーザ

11...基板

12...下部クラッド層

13...活性層

14...上部クラッド層

20...2次元フォトニック結晶

21a~21g...フォトニック結晶周期構造体

10

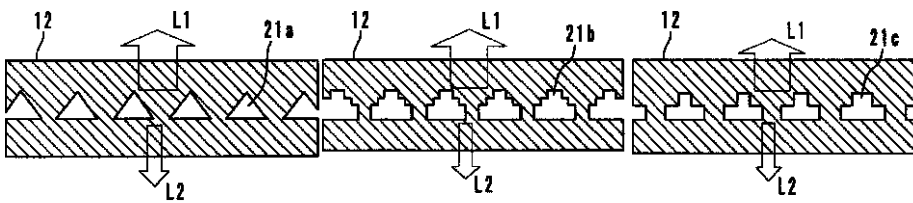
20

【図1】

【図2】

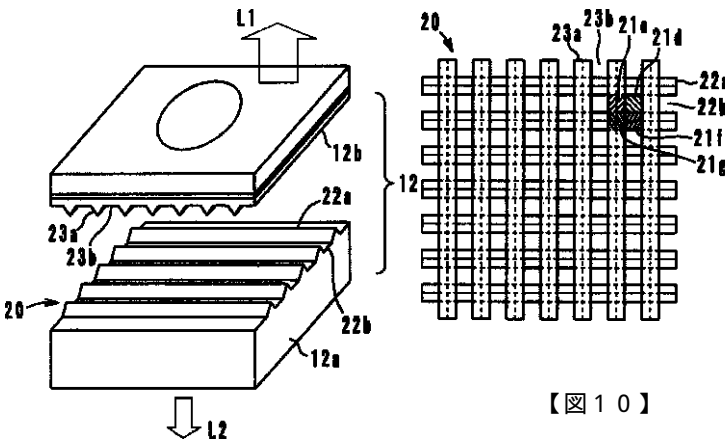
【図3】

【図5】

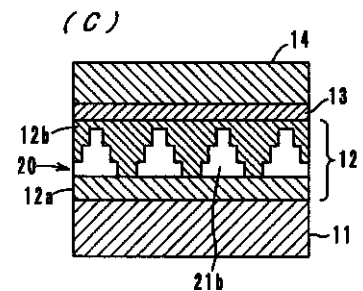
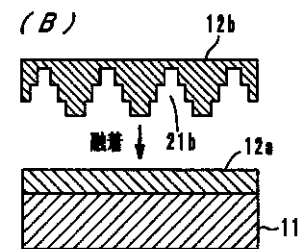
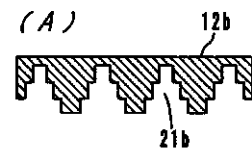
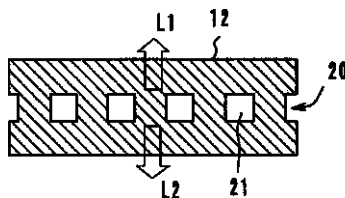


【図6】

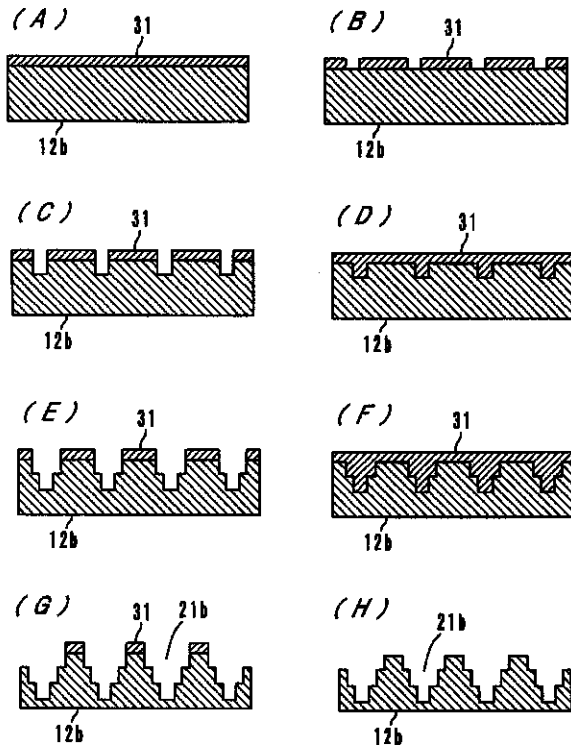
【図7】



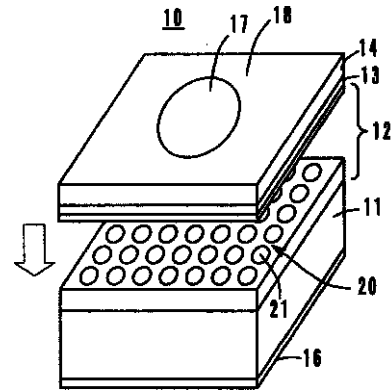
【図10】



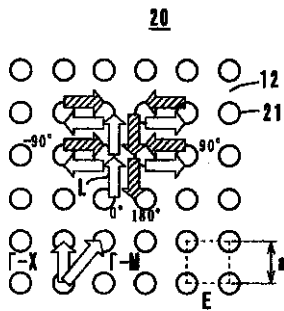
【図4】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 横山 光  
 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号  
 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

(72)発明者 関根 孝二郎  
 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号  
 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内  
 Fターム(参考) 5F073 AA63 AA74 AA75 AA89 AB17  
 CA12 DA16